



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein  
Schweizerisch-Liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑪ CH 670 521 A5

⑤① Int. Cl. 4: G 02 F 1/19  
G 01 D 5/38  
G 01 J 1/48  
G 01 N 21/77

## ⑫ PATENTSCHRIFT A5

②① Gesuchsnummer: 2256/85

②② Anmeldungsdatum: 29.05.1985

②④ Patent erteilt: 15.06.1989

④⑤ Patentschrift  
veröffentlicht: 15.06.1989

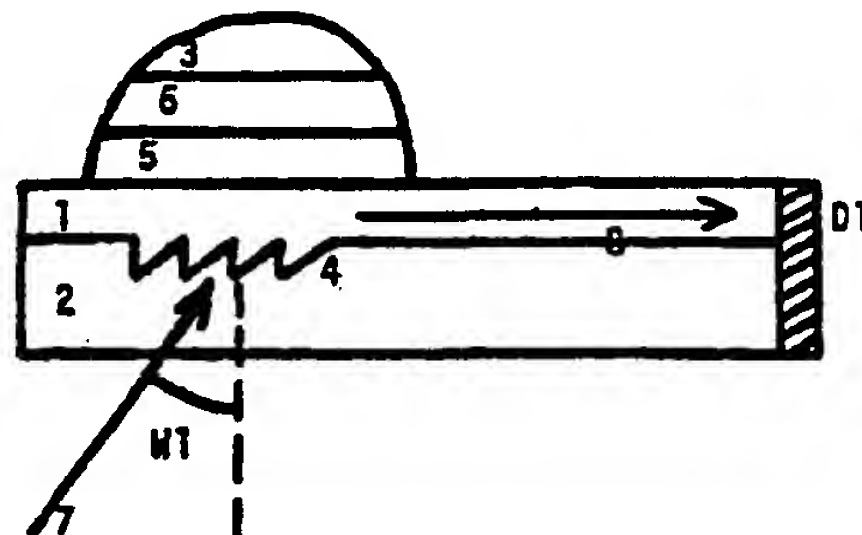
⑦③ Inhaber:  
Oerlikon-Bührle Holding AG, Zürich

⑦② Erfinder:  
Tiefenthaler, Kurt, Zürich  
Lukosz, Walter, Greifensee

⑦④ Vertreter:  
Werkzeugmaschinenfabrik Oerlikon-Bührle AG,  
Zürich

⑤④ Sensor zum selektiven Nachweis von Substanzen in gasförmigen, flüssigen oder festen Messsubstanzen.

⑤⑦ Der Sensor zum selektiven Nachweis von Substanzen in gasförmigen, flüssigen oder festen Messsubstanzen ist mit integriert optischen Elementen aufgebaut. Als wellenleitende Struktur besteht er aus einem wellenleitenden Film (1), einem Substrat (2), einem Beugungsgitter (4), und einem zumindest im Bereich des Beugungsgitters (4) auf den wellenleitenden Film (1) aufgetragenen und/oder zumindest im Bereich des Beugungsgitters (4) in Poren eines porösen wellenleitenden Films (1) eingebrachten selektiv empfindlichen Stoff (5). Die Messsubstanz (3) ist zumindest in der Gitterregion mit dem selektiv empfindlichen Stoff (5) in Kontakt bringbar. Das Sensorprinzip besteht nun darin, dass durch Anlagerung der in der Messsubstanz (3) enthaltenen, zu detektierenden Substanz an den selektiv empfindlichen Stoff eine Änderung der effektiven Brechzahl  $N$  eines sich im wellenleitenden Film (1) ausbreitenden Modes (8) bewirkt wird. Zur Detektion dieser Änderung wird die aus wellenleitender Struktur und Messsubstanz bestehende Anordnung (1, 2, 3, 4, 5) als Gittereinkoppler und/oder Gitterauskoppler oder Braggreflektor eingesetzt.



## PATENTANSPRÜCHE

1. Sensor zum selektiven Nachweis von Substanzen in gasförmigen, flüssigen oder festen Messsubstanzen, dadurch gekennzeichnet, dass er aus einem wellenleitenden Film (1), einem Substrat (2), zumindest einem als Gitterkoppler oder Bragg-Reflektor dienenden Beugungsgitter (4) und einem zumindest im Bereich des Beugungsgitters (4) auf den wellenleitenden Film aufgetragenen und/oder zumindest im Bereich des Beugungsgitters (4) in Poren eines porösen wellenleitenden Films (1) eingebrachten selektiv empfindlichen Stoff (5) besteht, dass er auch im Bereich des Beugungsgitters (4) als wellenleitende Struktur aufgebaut ist, und dass die Messsubstanz (3) zumindest im Bereich des Beugungsgitters (4) mit dem selektiv empfindlichen Stoff (5) in Kontakt bringbar ist, wobei der selektiv empfindliche Stoff (5) derart gewählt ist, dass er die in der Messsubstanz (3) enthaltene, nachzuweisende Substanz, durch chemische Bindung oder durch Chemisorption, Adsorption oder Absorption an sich bindet.

2. Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der selektiv empfindliche Stoff (5) derart gewählt ist, dass er die in der Messsubstanz (3) enthaltene, nachzuweisende Substanz reversibel an sich bindet, so dass letztere desorbierbar ist.

3. Sensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Beugungsgitter (4) ein Phasenvolumengitter ist.

4. Sensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Beugungsgitter (4) ein Oberflächenreliefgitter ist.

5. Sensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Brechzahl des wellenleitenden Films (1) zur Erreichung hoher Empfindlichkeiten mindestens 1%, vorzugsweise jedoch mehr als 10% grösser als diejenige des Substrates (2) gewählt ist.

6. Sensor nach einem der Ansprüche 1, 2 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass der wellenleitende Film (1) ausserhalb des Bereichs des Beugungsgitters (4) mit einer Schutzschicht (12) zur teilweisen oder vollständigen Verhinderung der Beeinflussung eines sich ausbreitenden Modes (8) ausserhalb des Bereichs des Beugungsgitters (4) bedeckt ist.

7. Sensor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Schutzschicht (12) ausserhalb der Gitterregion in Form eines Tapers anwächst.

8. Sensor nach einem der Ansprüche 1, 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass der selektiv empfindliche Stoff (5) aus Molekülen eines bestimmten Antigens besteht, die aus der Messsubstanz (3) selektiv die diesem Antigen entsprechenden Antikörper binden, oder dass der selektiv empfindliche Stoff (5) aus Molekülen eines bestimmten Antikörpers besteht, die selektiv die diesem Antikörper entsprechenden Antigene binden.

9. Verwendung des Sensors nach einem der Ansprüche 1 bis 8 zum selektiven Nachweis von Substanzen in gasförmigen, flüssigen oder festen Messsubstanzen, dadurch gekennzeichnet, dass die durch am und/oder im selektiv empfindlichen Stoff (5) wirksame chemische Bindungen oder ablaufende Chemisorptions-, Adsorptions- oder Absorptionsprozesse bewirkten Änderungen der effektiven Brechzahl eines sich in einer aus wellenleitender Struktur und Messsubstanz (3) bestehenden Anordnung ausbreitenden Modes (8, 10, 11) gemessen werden.

10. Verwendung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass ein Laserstrahl (7), der unter einem fest gewählten Einfallswinkel (W1) auf das Beugungsgitter (4) gerichtet wird, über dieses Beugungsgitter (4) in den wellenleitenden Film (1) eingekoppelt wird und dass die durch am und/oder im selektiv empfindlichen Stoff (5) ablaufende Prozesse bewirkten Änderungen der effektiven Brechzahl des Modes (8) bestimmt werden, indem die Änderungen der Intensität des Modes (8) gemessen werden.

11. Verwendung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Einfallswinkel (W1), unter dem der Laserstrahl (7) auf das Beugungsgitter (4) gerichtet wird, während der am und/oder im selektiv empfindlichen Stoff ablaufenden Prozesse so

nachjustiert wird, dass der Mode (8) die grösst mögliche Intensität hat, und dass die Änderungen der effektiven Brechzahl des Modes (8) aus den Änderungen des Einfallswinkels (W1) bestimmt werden.

12. Verwendung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Mode (8) durch das Beugungsgitter (4) aus dem wellenleitenden Film (1) ausgekoppelt wird und dass die durch am und/oder im selektiv empfindlichen Stoff (5) ablaufende Prozesse bewirkten Änderungen der effektiven Brechzahl bestimmt werden, indem die Änderungen des Auskopplungswinkels (W2) gemessen werden oder bei festem Auskopplungswinkel (W2) die Änderungen der Intensität eines ausgekoppelten Laserstrahls (9) registriert werden.

13. Verwendung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Mode (8) unter einem Glanzwinkel (W3) auf das Beugungsgitter (4) gerichtet wird und am Beugungsgitter (4) Bragg-reflektiert wird und dass die durch an und/oder in dem selektiv empfindlichen Stoff (5) ablaufende Prozesse bewirkten Änderungen der effektiven Brechzahl bestimmt werden, indem die Änderungen der Intensität des reflektierten Modes (10) und/oder des transmittierten Modes (11) gemessen werden.

14. Verwendung nach einem der Ansprüche 10, 11 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Intensität des Modes (6) dadurch bestimmt wird, dass der Mode (8) über ein zweites Beugungsgitter (15) ausgekoppelt und die Intensität eines ausgekoppelten Laserstrahls (17) mit einem Detektor (D6) gemessen wird.

15. Verwendung nach einem der Ansprüche 10, 11 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Intensität des Modes (8, 10, 11) dadurch bestimmt wird, dass der Mode (8, 10, 11) über eine Stirnfläche direkt auf einen an dieser Stirnfläche vorgesehenen Detektor (D1, D3, D4) auftrifft und die Intensität des auftretenden Modes (8, 10, 11) mit dem Detektor (D1, D3, D4) gemessen wird.

## BESCHREIBUNG

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Sensor gemäss Oberbegriff des Patentanspruches 1. Ein bekanntes Gerät zum Nachweis von Chemisorbatschichten oder von chemisch gebundenen Schichten auf Oberflächen ist das Ellipsometer, das den Polarisationszustand des an der Chemisorbatschicht reflektierten Lichtes analysiert. Dieses Gerät beansprucht relativ viel Platz und das benötigte Messvolumen ist verhältnismässig gross, was für kostspielige Messsubstanzen von grossem Nachteil sein kann. Zudem ist die Messgenauigkeit beschränkt, da die Messküvette den Polarisationszustand des Lichtes beeinflusst.

Eine weitere Methode, chemische Substanzen zu detektieren, ist die Spektralphotometrie. B.E. Hardy et al. beschreiben in Nature 257 (1975), 666-667 ein Spektralphotometer, in dem das Licht in einem optischen Wellenleiter geführt wird. Der optische Wellenleiter ist in diesem Fall ein Quarzstab mit makroskopischen Abmessungen (der Durchmesser des Quarzstabes beträgt ca. 1 mm), also ein typischer Multimode-Wellenleiter. Die Messmethode beruht darauf, dass durch die Adsorption einer chemischen Substanz an den mit einer chemoempfindlichen Schicht versehenen Quarzstab die Lichttransmission des optischen Wellenleiters geändert wird.

Die Erfindung, wie sie im Patentanspruch 1 gekennzeichnet ist, löst die Aufgabe, einen Sensor zu schaffen, welcher

1. den selektiven Nachweis von Substanzen in gasförmigen, flüssigen oder festen Messsubstanzen ermöglicht;
2. Änderungen in der Oberflächenbelegung bis ca. von einem Hundertstel einer monomolekularen Schicht noch auflösen kann;
3. ein sehr geringes Messvolumen benötigt;
4. möglichst wenig Platz beansprucht.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von Zeichnungen beispielsweise näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung der Grundelemente der Erfindung;

Fig. 2 eine erfindungsgemässe Messeinrichtung mit einem Gittereinkoppler;

Fig. 3 eine erfindungsgemässe Messeinrichtung mit einem Gitterauskoppler;

Fig. 4 eine erfindungsgemässe Messeinrichtung mit einem Bragg-Reflektor;

Fig. 5 eine schematische Darstellung der Grundelemente der Erfindung, wobei der Wellenleiter ausserhalb der Gitterregion mit einer Schutzschicht bedeckt ist;

Fig. 6 eine erfindungsgemässe Einrichtung zur Messung der Intensität der geführten Lichtwelle, wobei das von der geführten Lichtwelle erzeugte Streulicht mit einer Faseroptik aufgefangen und einem Detektor zugeführt wird;

Fig. 7 eine erfindungsgemässe Einrichtung zur Messung der Intensität der geführten Lichtwelle, wobei dazu die geführte Lichtwelle über ein zweites Beugungsgitter ausgekoppelt wird.

Grundbaustein der integrierten Optik ist der planare Wellenleiter. Dieser besteht aus einer dünnen dielektrischen Schicht, die sich auf einem Substrat befindet. Einkoppeltes Laserlicht kann durch Totalreflexion in dieser dünnen Schicht geführt werden. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer solchen geführten Lichtwelle (nachstehend als «Mode» bezeichnet) beträgt  $c/N$ , wobei  $c$  die Lichtgeschwindigkeit und  $N$  die effektive Brechzahl des im Wellenleiter sich ausbreitenden Modes sind. Die effektive Brechzahl  $N$  wird durch die Konfiguration des Wellenleiters (Schichtdicke und Brechzahl der dünnen Schicht sowie Brechzahl des Substrats) festgelegt.

Das Sensorprinzip beruht darauf, dass eine Änderung der Konfiguration des Wellenleiters eine Änderung der als komplexe Grösse aufzufassenden, effektiven Brechzahl  $N$  zur Folge hat. Eine Änderung der Konfiguration kann durch Anlagerung einer Zusatzschicht an die dünne Schicht erfolgen, weil sich eine anlagernde Zusatzschicht wie eine Zunahme der Schichtdicke der dünnen Schicht auswirkt.

Ein selektiver Nachweis von Substanzen kann nun in der Weise erreicht werden, dass auf der dünnen Schicht ein selektiv empfindlicher Stoff in Form einer Zusatzschicht aufgebracht wird, die selektiv eine in der Messsubstanz enthaltene und nachzuweisende Substanz durch chemische Bindung oder durch Chemisorption, Adsorption oder Absorption an sich bindet und so zu einer Zunahme der Dicke dieser Zusatzschicht und damit zu einer Änderung der effektiven Brechzahl führt. Eine auf diese Weise bewirkte Änderung der effektiven Brechzahl kann beispielsweise mit einem Gittereinkoppler und/oder Gitterauskoppler oder mit einem Bragg-Reflektor detektiert werden. Die Wirkungsweise des Gitterkopplers bzw. des Bragg-Reflektors ist anhand der Figuren beschrieben.

Fig. 1 zeigt in schematischer Darstellung die Grundelemente der Erfindung. Eine dünne Schicht befindet sich in Form eines wellenleitenden planaren Films 1 (beispielsweise einer glasartigen  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ -Schicht) auf einem Substrat 2 (beispielsweise einem Borosilikat-Glas). Der wellenleitende Film 1 und das Substrat 2 bilden zusammen den sogenannten Wellenleiter 1/2. Damit sich Laserlicht via Totalreflexion im wellenleitenden Film 1 ausbreiten kann, muss die Brechzahl des wellenleitenden Films 2 grösser als die des Substrats 2 und der Messsubstanz 3 sein. Der wellenleitende Film 1 kann eine mikroporöse Struktur aufweisen, wie dies zum Beispiel bei der Filmherstellung mit einem Tauchbeschichtungsverfahren erreicht werden kann. Auf der entweder dem Substrat 2 oder der Messsubstanz 3 zugewandten Oberfläche des wellenleitenden Films 1 oder auch in dessen Volumen befindet sich ein Beugungsgitter 4 der Länge  $L$  (zur Herstellung des Wellenleiters und des Gitters vergleiche z.B. W. Lukosz und K. Tiefenthaler, Optics Letters 8 (1983), 537-539).

Das Beugungsgitter 4 dient zur Beugung von Laserlicht, wobei die Beugung massgeblich durch die effektive Brechzahl  $N$  beeinflusst wird.

Der wellenleitende Film 1 ist zumindest in der Gitterregion mit einem als Zusatzschicht geformten selektiv empfindlichen Stoff 5 bedeckt, welcher einen selektiven Nachweis einer in der Messsubstanz 3 enthaltenen Substanz ermöglicht. Die zu untersuchende Substanz 3, welche auch als «Messsubstanz» bezeichnet wird, wird zumindest im Bereich des Beugungsgitters 4 auf den selektiv empfindlichen Stoff 5 aufgebracht.

Der selektiv empfindliche Stoff 5 ist also derart beschaffen, dass er selektiv nur eine bestimmte Substanz, die in der Messsubstanz 3 vorhanden ist, chemisch bindet oder chemisorbiert, adsorbiert oder absorbiert. Die derart gebundene Substanz bildet eine weitere Zusatzschicht 6. Die Selektivität kann beispielsweise dazu benutzt werden, in der Biochemie Antigen-Antikörper-Kopplungen zu identifizieren. Besteht in diesem Beispiel der als Zusatzschicht geformte selektiv empfindliche Stoff 5 aus einem bestimmten Antigen, so findet genau dann eine Antigen-Antikörper-Kopplung statt, wenn in der Messsubstanz 3 der dem Antigen entsprechende Antikörper vorhanden ist. Die weitere Zusatzschicht 6 besteht in diesem Beispiel aus Antikörpern. Es können Antigen und Antikörper in ihrer Funktion auch ausgetauscht werden, d.h. der selektiv empfindliche Stoff 5 kann auch aus Antikörpern aufgebaut sein.

Der chemisch bindende oder chemisorbierende, adsorbierende oder absorbierende selektiv empfindliche Stoff 5 kann als Zusatzschicht vorliegen und/oder auch nur in den Mikroporen des wellenleitenden Films 1 vorhanden sein. Im letzten Fall findet die chemische Bindung oder die Chemisorption, Adsorption oder Absorption im wellenleitenden Film 1 selbst statt. Sind die Mikroporen beispielsweise mit einem Pikrat-Farbstoff gefüllt, so können mit dem vorliegenden Sensor selektiv Cyan-Dämpfe detektiert werden (vergleiche hierzu E.E. Hardy et al., Nature 257 (1975), 666-667). In diesem Beispiel ist die selektive Adsorption zudem mit einer Farbänderung des selektiv empfindlichen Stoffes verbunden.

Nach Fig. 2 kann ein Laserstrahl 7 über ein Beugungsgitter 4 in einen Wellenleiter 1/2 eingekoppelt werden und in Form eines Modes 8 dem Wellenleiter 1/2 entlanglaufen. Es spielt keine Rolle, ob der Laserstrahl 7 von der Substratseite oder von der Messsubstanzseite her auf das Beugungsgitter 4 fällt. Als Laser kann beispielsweise ein Helium-Neon Laser oder ein Halbleiter-Laser verwendet werden. Die Einkopplungsbedingung ist eine Resonanzbedingung und ist dadurch charakterisiert, dass je nach Wellenleiter-Konfiguration, d.h. je nach effektiver Brechzahl, der Einfallswinkel  $W1$  des Laserstrahls 7 entsprechend gewählt werden muss, um eine maximale Intensität des Modes 8 zu erreichen. Der Einfallswinkel  $W1$  des Laserstrahls 7 wird infolgedessen durch die effektive Brechzahl  $N$  des angeregten Modes 8 bestimmt, welche im wesentlichen von den Brechzahlen der am Wellenleiter beteiligten Medien, von der Schichtdicke des wellenleitenden Films 1 und von Brechzahl und Schichtdicke des als Zusatzschicht geformten selektiv empfindlichen Stoffes 5 und der weiteren Zusatzschicht 6 bestimmt ist. Wird beispielsweise infolge eines Chemisorptions- oder Desorptionsprozesses die effektive Brechzahl  $N$  des Modes 8 geändert, so ist der ursprünglich gewählte Einfallswinkel  $W1$  nicht mehr optimal, so dass die Intensität des Modes 8 sich ändert. Die Änderung der effektiven Brechzahl  $N$  kann nun auf zwei verschiedenen Arten gemessen werden.

Bei kleinen effektiven Brechzahländerungen kann die Änderung der Lichtintensität des Modes 8 mit Hilfe eines Detektors  $D1$  gemessen, damit auf die Änderung der effektiven Brechzahl und somit auf den Zustand des Chemisorptions- oder Desorptionsprozesses geschlossen werden. Diese Messmethode eignet sich für die Messung von effektiven Brechzahländerungen, die kleiner sind als die Halbwertsbreite der Resonanzeinkopplungs-



kurve. Die Halbwertsbreite der Resonanzeinkopplungskurve hängt wegen der Unschärferelation von der Ausdehnung  $L$  des Beugungsgitters ab (vergleiche hierzu K. Tiefenthaler und W. Lukosz, *Optics Letters* 9 (1984), 137-139). Bei einer Gitterlänge  $L = 6$  mm und einer Wellenlänge von 633 nm können Änderungen der Oberflächenbelegung von einem Hundertstel einer monomolekularen Schicht, beispielsweise einer  $H_2O$ -Schicht, noch aufgelöst werden.

Bei effektiven Brechzahländerungen, die grösser als die Halbwertsbreite der Resonanzeinkopplungskurve sind, erfolgt die Registrierung durch Optimierung der Lichtintensität des Modes 8, indem der Einfallswinkel  $W1$  des Laserstrahls 7 so nachgestellt wird, dass die Intensität des Modes 8 stets maximal ist. Aufgrund der Änderung des Einfallswinkels  $W1$  kann auf die Änderung der effektiven Brechzahl des Modes 8 geschlossen werden. Es besteht auch die Möglichkeit, den Einfallswinkel  $W1$  aufgrund von Berechnungen derart zu wählen, dass ein Mode 8 von maximaler Intensität erst dann entsteht, wenn die Dicke der weiteren Zusatzschicht einen gewünschten Wert erreicht hat.

In Fig. 3 ist eine erfindungsgemässe Messeinrichtung mit einem Gitterauskoppler gezeigt. Wellenleiter 1/2, Beugungsgitter 4 und als Zusatzschicht geformter selektiv empfindlicher Stoff 5 sind in Fig. 1 beschrieben. Fällt ein Mode 8 auf das Beugungsgitter 4, so wird der Mode 8 teilweise oder vollständig ausgekoppelt. Der ausgekoppelte Laserstrahl 9 tritt unter einem bestimmten Auskopplungswinkel  $W2$ , der durch die effektive Brechzahl des Modes 8 bestimmt ist, aus dem Wellenleiter 1/2 aus. Die Erzeugung des Modes 8 ist in Fig. 3 nicht eingezeichnet. Der Mode kann beispielsweise durch Stirnflächen-Einkopplung, Prismeneinkopplung, Gittereinkopplung etc. angeregt werden (vergleiche hierzu T. Tamir, *Integrated Optics*, Kap. 3). Eine Änderung der Schichtdicke der weiteren Zusatzschicht 6 bewirkt eine Änderung der effektiven Brechzahl des Modes 8 in der Gitterregion, was eine Änderung des Auskopplungswinkels  $W2$  zur Folge hat. Diese Winkeländerung kann beispielsweise mit einem Diodenarray D2 oder einem anderen positionsempfindlichen Detektor gemessen werden.

In Fig. 4 ist ein sogenannter Bragg-Reflektor gezeigt. Aus Platzgründen sind in Fig. 4 der selektiv empfindliche Stoff 5 und die weitere Zusatzschicht 6 nicht eingezeichnet. Die für die Gitterkoppler (Fig. 2 und 3) verwendeten Beugungsgitter können auch als Bragg-Reflektoren eingesetzt werden. Ein Mode 8 wird an einem Beugungsgitter Bragg-reflektiert, falls die Bragg-Bedingung erfüllt ist, d.h. falls der Glanzwinkel  $W3$  dem Bragg-Winkel entspricht (vergleiche hierzu W. Lukosz und K. Tiefenthaler, *Optics Letters* 8 (1983), 537-539). Für die Erzeugung des Modes 8 gilt das gleiche wie das zu Fig. 3 gesagte. Die Detektoren D3 und D4 messen die Intensität eines am Beugungsgitter 4 reflektierten Modes 10 und/oder die Intensität eines transmittierten Modes 11. Der Braggwinkel wird durch die effektive Brechzahl  $N$  in der Gitterregion festgelegt. Ändert sich die effektive Brechzahl  $N$  aufgrund eines Chemisorptions- oder Desorptionsprozesses, so wird die Bragg-Bedingung gestört. Die Intensitäten des reflektierten und transmittierten Modes ändern sich. Durch Messung der Lichtintensität des reflektierten Modes 10 und/oder des transmittierten Modes 11 mit den Detektoren D3 und/oder D4 kann auf die Änderung der Schichtdicke der weiteren Zusatzschicht 6 geschlossen werden.

Eine andere Messmöglichkeit besteht darin, den Glanzwinkel  $W3$  derart zu wählen, dass die Bragg-Bedingung gerade nicht erfüllt und somit kein reflektierter Mode 10 vorhanden ist. Hat die Schichtdicke der weiteren Zusatzschicht 6 den gewünschten Wert erreicht, tritt ein reflektierter Mode 10 auf, da die Bragg-Bedingung dann erfüllt ist. Anhand des Glanzwinkels  $W3$  und der Intensität des reflektierten Modes 10 und/oder des transmittierten Modes 11 kann auf die Änderung der Schichtdicke der weiteren Zusatzschicht 6 geschlossen werden.

Adsorbierte Makromoleküle, beispielsweise Proteine, können eine hohe Streuwirkung auf einen Mode ausüben. Dadurch kann der Mode ausserhalb der Gitterregion so stark geschwächt werden, dass eine Messung der Lichtintensität nicht mehr möglich ist. Dasselbe Argument gilt beispielsweise auch für Messsubstanzen, die das Licht schwach absorbieren. Um diesen Effekt teilweise oder vollständig zu verhindern, ist es vorteilhaft — wie in Fig. 5 gezeigt —, den wellenleitenden Film 1 ausserhalb der Gitterregion mit einer Schutzschicht 12 zu bedecken. Diese Schutzschicht 12 kann beispielsweise eine  $SiO_2$ -Schicht sein. Die Schichtdicke der Schutzschicht 12 muss so gross gewählt werden, dass ausserhalb der Gitterregion der Mode mit der Messsubstanz 3 nur reduziert oder überhaupt nicht wechselwirken kann. Die Schutzschicht 12 kann auch dazu verwendet werden, den störenden Einfluss der Befestigungsvorrichtung einer — in der Figur 5 nicht eingezeichneten — mit der Messsubstanz 3 gefüllten Küvette zu verhindern.

Aus Fig. 5 ist ferner ersichtlich, dass es vorteilhaft ist, die Schutzschicht 12 ausserhalb der Gitterregion in Form eines Tapers (also nicht in Form einer abrupten Stufe) anwachsen zu lassen.

In Fig. 2 und 4 sind Detektoren eingezeichnet, welche die Intensität des Modes 8 bzw. 10 und 11 direkt messen. Um möglichst viel Licht auf den Detektoren D1 bzw. D3 und D4 zu haben, sollten sich die Detektoren — wie in Fig. 2 und Fig. 4 eingezeichnet — möglichst nahe der Austrittsstelle, an der der Mode den Wellenleiter 1/2 verlässt, befinden. Auch ist es vorteilhaft, wenn der wellenleitende Film 1 an der gleichen Stelle wie das Substrat endet, d.h. das Substrat 2 nicht über den wellenleitenden Film 1 hinausragt.

Eine weitere Detektionsmöglichkeit ist in Fig. 6 beschrieben, wobei hier das vom Mode 8 erzeugte Streulicht 13 mit einer Faseroptik 14 aufgefangen und einem Detektor D5 zugeführt wird. Die Intensität des Streulichtes 13 ist proportional zur Intensität des Modes 8. Das Streulicht 13 ist aufgrund von nicht vermeidbaren Inhomogenitäten im wellenleitenden Film 1 stets vorhanden. In gleicher Weise kann beim Bragg-Reflektor (siehe Fig. 4) anstatt der direkten Messung der Intensität des Modes 10 und/oder des Modes 11 die Intensität des Streulichtes des reflektierten Modes 10 und/oder des transmittierten Modes 11 gemessen werden.

Es besteht auch die Möglichkeit — wie in Fig. 7 gezeigt — den Mode 8 beispielsweise mit einem zweiten Beugungsgitter 15 zuerst auszukoppeln und dann die Intensität des unter dem Winkel  $W4$  ausgekoppelten Laserstrahls 17 mit einem Detektor D6 zu messen. Diese Intensität ist proportional zur Intensität des Modes 8. Der Auskopplungsmechanismus des zweiten Beugungsgitters 15 darf von der Messsubstanz 3 nicht gestört werden. Dies kann beispielsweise erreicht werden, indem in der Region des zweiten Beugungsgitters 15 eine Schutzschicht 16 den Wellenleiter 1/2 von der Messsubstanz 3 trennt oder in dieser Gitterregion überhaupt keine Messsubstanz 3 vorhanden ist (näheres zur Schutzschicht vergleiche Erläuterungen zu Fig. 5). Die Auskopplung kann aber auch über einen Prismenkoppler oder einen Taper erfolgen (vergleiche hierzu T. Tamir, *Integrated Optics*, Kap. 3).

Die Empfindlichkeit des integrierten optischen Sensors lässt sich definieren als differentielle Änderung der effektiven Brechzahl aufgrund einer differentiellen Schichtdickenänderung der weiteren Zusatzschicht 6. Besonders hohe Empfindlichkeiten werden dann erreicht, wenn der wellenleitende Film 1 eine wesentlich höhere Brechzahl hat als das Substrat 2 und die Mess-

substanz 3, und wenn die Schichtdicke des wellenleitenden Films 1 etwas grösser als die Mindestschichtdicke gewählt wird. Eine Mindestschichtdicke (die sogenannte cut-off-Schichtdicke) ist für den wellenleitenden Film 1 erforderlich, um überhaupt einen Mode in einem wellenleitenden Film 1 anregen zu können

(vergleiche hierzu T. Tamir, Integrated Optics, Springer, Berlin 1979, Kap. 2). Damit möglichst hohe Empfindlichkeiten erreicht werden, empfiehlt es sich, die Brechzahl des wellenleitenden Films 1 mindestens 1%, vorzugsweise mehr als 10% grösser als diejenige des Substrates 2 zu wählen.

Fig. 1

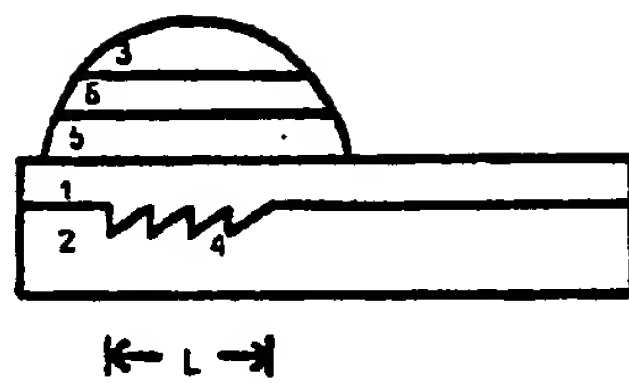


Fig. 2

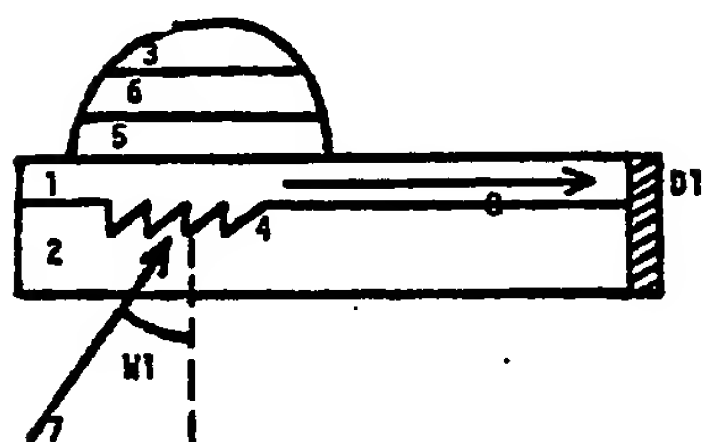


Fig. 3

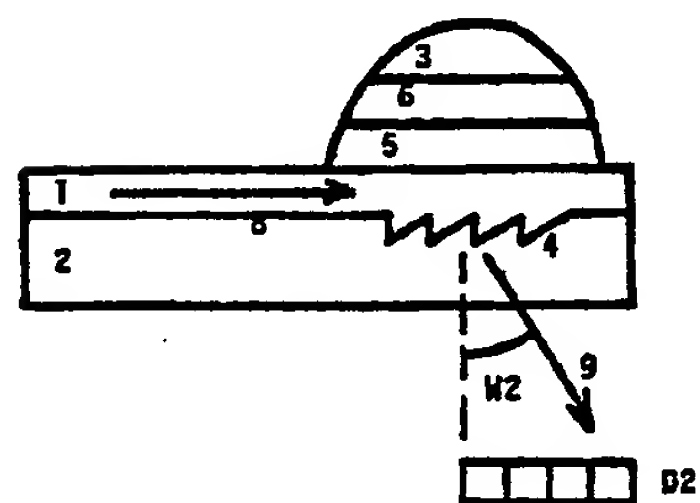


Fig. 4

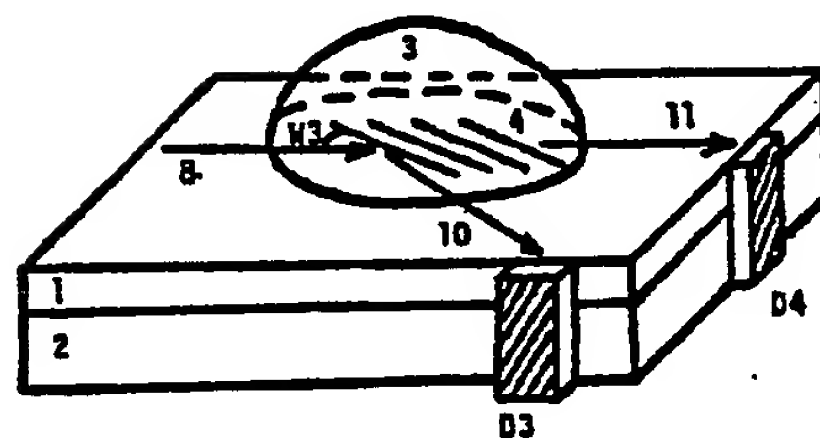


Fig. 5

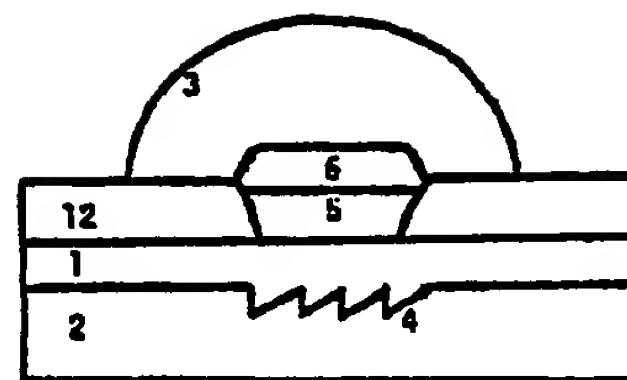


Fig. 6

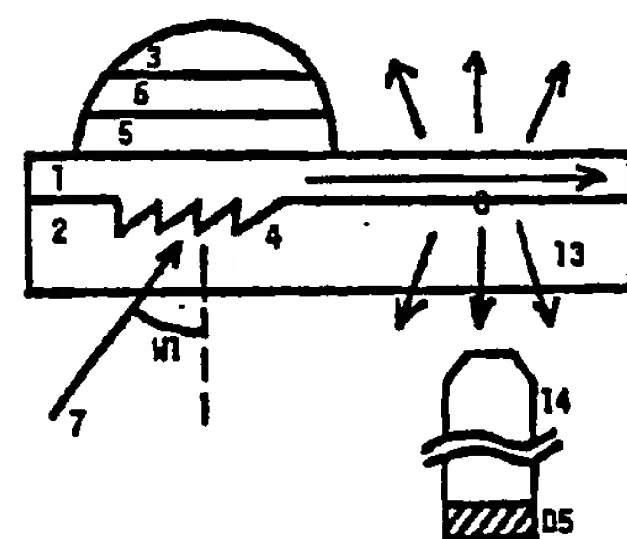


Fig. 7

